

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number :

2003-198465

(43)Date of publication of application : 11.07.2003

(51)Int.CI.

H04B 10/02
G02F 1/35
H01S 3/10
H01S 3/30
H04B 10/16
H04B 10/17
H04B 10/18
H04J 14/00
H04J 14/02

(21)Application number : 2001-390366

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 21.12.2001

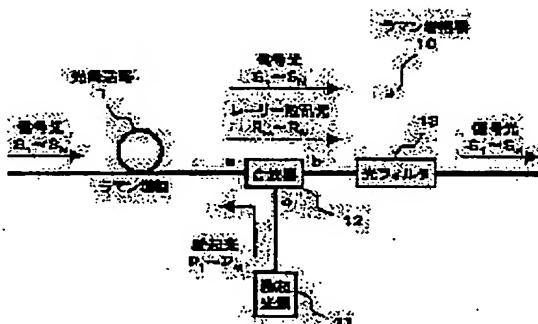
(72)Inventor : TANAKA TOSHIKI
TORII KENICHI
NAITO TAKAO

(54) RAMAN AMPLIFIER AND OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a Raman amplifier and an optical transmission system capable of reducing characteristic degradation caused by stimulation light coexisting in the wavelength band of a signal light.

SOLUTION: This Raman amplifier 10 is provided with a stimulation light source 11 generating the stimulation lights P1-PM having the wavelength band overlapping with the wavelength band of the signal light, a multiplex part 12 supplying the stimulation lights P1-PM to an optical transmission line 1 as rear stimulation light, and an optical filter 13 suppressing the Rayleigh scattered light of the stimulation light included in the light transmitted through the multiplex part 12 from a port (a) to a port (b).



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C) 1998,2003 Japan Patent Office

ドおよびレーベンに對応した合分波器を利用して2つの回路信号光波長帯域を併用することにより、 $B_{0.1m}$ 以上の強度中性散乱を実現するところとこれである。また、このことは、偏光鏡をつぶつDM(底光)の強度中性散乱を実現するところとこれである。

[0007] 具体的には、
 1. “100nm bandrithized flat-diamond Roman amplifiers
 and gain-equalized by 12-wavelength-channels
 WDM high power laser diodes”, OFC’99, 2019, 199
 9.1 部に示されたランプの端面部においては、屈屈光パワ
 ルおよびその系統波長を調整することにより、その特徴
 100 nm 波長帯幅として 100 nm 波長を保有している。この方
 うな從来のランプの端面部は、図 2.6 のように示すよう
 に、増幅管体としての光ファイバ 12.0 1 に対して、屈
 曲光路 2.0 2 からの屈屈光が屈光方向とは逆方に
 に伝搬するよう逆に供給される構成が一般的である。こ
 の端面部では、屈屈光を光ファイバ 12.0 1 に与える合せ
 2.0 3 として、ポート毎に通過する波長が異なる波長
 成器 (WDM combiner) が適用される。上記のとおり、波
 長なる複数の屈屈光 P₁～P_n と、波長の異なる複数の
 単光 S₁～S_m と、からマン形側のシフト周波数波に同じじ
 れそれを配置され、屈屈光の波長選択 P₁～P_n と信
 の波長選択 H₁～H_m とが異なる側面に分けられた
 配置となっている。

[0008] また、例えば、矢野他による「3D-
 DM伝送におけるSRSロストと補償法の検討」(2000
 電子情報通信学会サテライト大会, B-10-167) 等に
 ては、ランプ増幅器とEDFAを組み合わせたハイ
 フィード増幅器が検討されている。このハイブリッド増
 強幅器に与えられる波段として光セグチャチャレータ 2.0
 が用いられている。

www.share.com

送信光が弱いので、反射光が切断されない場合、切
る方法がないので、光学式遮断器が切断される。しか
ず、この公認技術においては反射光の波長が信号光の波
長帯域外にあるため、信号光を反射して抑止することはできず、前
述した遮断点の結果を図ることは難しい。

〔0015〕また、ラマン増幅器のための屈曲光が原因と
なる他の問題点として、例えば図3に示すように、ラ
マン増幅された信号光の一部を消波器205で分波して
出力モニタ部206へと送りする方式が信号光の波長に加わって複音
のような過渡光のレーラー散乱光が信号光となってしまうこ
となり、信号光出力モニタの電界強度が混合した波長
が考えられる。特に、屈曲光と信号光が混合した波長
になっている場合には、前述したように屈曲光のレ
ーラー散乱光が混入されると、信号光のパワーが
カモニク部208に射するレーラー散乱光とのパワーが
大きくなってしまう。上記の問題点は、屈曲光の波長帯
域と信号光の波長帯域が異なる領域に分けられている
場合でも同様であって、信号光の波長帯域外にある屈曲
光のレーラー散乱光は増幅部体の伝送損失により減衰さ
れるものの、高い相対的出力モニタを行う必要があると
きなどには問題点になり得る。

〔0016〕さらに、監視制御(SuperVision)信号を
伝達するため屈曲光と同一波長の光が生成されると、
反射するため屈曲光側内に屈曲光と同一波長の光が生
まれる信号光と交差された屈曲光のレーラー散乱光が出
力モニタ部206に射することになり、2つの変調信
号可変な屈曲光成長抑止部を備えて構成されるもの

公報等においては、ラマン増幅器の出力部に屈曲光を除
去するフィルタを設けた構成が示されている。しか
ず、この公認技術においては屈曲光の波長が信号光の波
長帯域外にあるため、信号光を反射して抑止することはできず、前
述した遮断点の結果を図ることは難しい。

〔0017〕また、ラマン増幅器のための屈曲光が原因と
なる他の問題点として、例えば図3に示すように、ラ
マン増幅された信号光の一部を消波器205で分波して
出力モニタ部206へと送りする方式が信号光の波長に加わって複音
のような過渡光のレーラー散乱光が信号光となってしまうこ
となり、信号光出力モニタの電界強度が混合した波長
が考えられる。特に、屈曲光と信号光が混合した波長
になっている場合には、前述したように屈曲光のレ
ーラー散乱光が混入されると、信号光のパワーが
カモニク部208に射するレーラー散乱光とのパワーが
大きくなってしまう。上記の問題点は、屈曲光の波長帯
域と信号光の波長帯域が異なる領域に分けられている
場合でも同様であって、信号光の波長帯域外にある屈曲
光のレーラー散乱光は増幅部体の伝送損失により減衰さ
れるものの、高い相対的出力モニタを行う必要があると
きなどには問題点になり得る。

〔0018〕さらに、監視制御(SuperVision)信号を
伝達するため屈曲光と同一波長の光が生成されると、
反射するため屈曲光側内に屈曲光と同一波長の光が生
まれる信号光と交差された屈曲光のレーラー散乱光が出
力モニタ部206に射することになり、2つの変調信
号可変な屈曲光成長抑止部を備えて構成されるもの

〔0018〕上記してきた既存技術の問題点は、後方屈
曲型のラマン増幅器を行う場合と前方屈曲光が伝播される前方屈
曲型のラマン増幅器を行う場合にも、後方屈曲光のレー
リーグル光に代えて増幅媒体を伝播した前方屈曲光の流れ
れを想定することと、後方屈曲型の場合と同様の各部
題点を考えることができる。

〔0019〕本発明は上述したような問題点に對応し
たもので、現在の波長選択器内に混在する動態屈
折率によって生じる特性劣化を考慮することとをさ
うに、ラマン増幅器および光伝送システムを提供することを
目的とする。

〔0020〕問題を解決するための手段 上記の目的を達成する光伝
送装置の構成であるが、信号光が伝播する光伝
送部の増幅媒体に屈曲光を照射し、その増幅媒体を伝
播する信号光をラマン増幅器であって、
屈曲部の波長帯域が信号光の波長帯域に重なる領域を
するとき、増幅媒体をもとに出した光に含まれる、信号光成
分と混在する屈曲部内の屈曲光と同一波長の光が生成
される。

増大するため、例えば図30に示すように、このレーリー一般光と信号光との間で4光波混合が発生する可能性がある。通常、光中性器の出力における1チャネルあたりの信号光パワーは -1.0 dBm 程度であり、これより高い信号光パワーは一般光パワーでは望ましく大きくなり得るため、非線形光学効果の1つである4光波混合が発生するため、信号光が劣化される。新たに発生した4光波混合光と既存の信号光とのピート特性が光受信機のベースバンド帯域内に入りような場合には、パワーコロストレーダよりも遙かに大きな伝送特性の劣化を引き起こしてしまってことになる。

【0014】 ラマン増幅における不要光を抑制する技術に関する特許平2-153327号公報や特開2000-151507号公報等において、信号光をラマン増幅する際に発生する自然ラマン散乱光の内容が記載されている。しかし、自然ラマン散乱光の波長は屈曲光の波長からシフトして、上の波長を通過するときにても屈曲光のレーリー散乱光を抑制することとできなかったが前述した問題点を解決することはない。また、例えば特開2001-185787号公報等には、伝導光のレーリー散乱光を遮断する内容が記載されているが、これらも信号光が励起光とは異なるため、励起光のレーリー散乱光を遮断することは困難である。さらに、例えば特開昭60-2263538号

導から監視制御信号を直接処理することとなる。

30 おそれらの波長範囲は、電波の伝播距離が切離さない場合、
定光の方へ一反射光だけが反射して戻ってくるが、
定光のレーベル反射光だけが反射して戻ってくると
断されている場合にはフレネル反対光が戻ってくるこ
とを利用したものである。

30 [0018] 上述してきた従来技術の問題点は、後方
起型のラマン増幅器を行う場合を想定したものであるが、
前記の実用新案権と同じ方向に屈曲光が伝播される前
面倒型のラマン増幅器を行う場合にも、後方屈曲光のレ
リ-反射光と共に代えて増幅鏡体を伝播した前方屈曲光のレ
リ-反射光を用いて増幅鏡体を伝播することによって、後方屈曲型の場合と同様の効
果を得ることができる。

30 [0019] 本発明は上記のような問題点に目
ざされたもので、生じる特許性を保護することとして、
40 ラマン増幅器および光伝送システムを提供することを
的とする。

[0020] [問題を解決するための手段] 上記の目的を達成す
るためのラマン増幅器は、倍光場が伝播する光
中、本発明のラマン増幅器は、倍光場が伝播する光
中、前記の増幅鏡体は倍光場を供給し、その増幅鏡体をも
つての増幅鏡体はラマン増幅器であって、
する倍光場をラマン増幅器するラマン増幅器であって、
屈曲光の倍光場が倍光場が伝播する倍光場を供給する
とき、増幅鏡体を伝播した光に含まれる、信号
波長域に重なる開口部内の屈曲光と同一波長の光の成
り立つ可動な波長域を抑止部を備えて構成されるもの

図1は、本発明にかかるラマン光
炉窓の基本構成を示すブロック図である。図1において
は、本ラマン炉窓10は、例えば、光伝送路1を伝送
するVDM管等に対応した屈光光を発生する屈光光
生部としての屈光光部11と、屈光光部11から出力さ
れる屈光光を光伝送路1に供給する合波器としての合波
器12と、合波器12を通して透過される屈光光としての
同一波長の光部分を屈折する屈光光部屈折部としての
光フィルタ13とを組んで構成される。
図1に示すように、屈光光部11は、例えば2に示すよう
く、波長の異なる複数の屈光光P₁、P₂を発生し、その
[0021] かかる構成のラマン炉窓では、屈光光の
屈折部が只管部に直結する波長部端子では、屈光光の
他の波長部端子に与えられることにより、光伝送路を伝ず
る屈光光がラマン炉窓によって屈折され、屈折部を伝送した光
となる。この屈折光波長同一波長部では、屈折部全体を伝送した光
に含まれる屈折光波長同一波長の屈光光が屈折する不
規則性を有さないラマン炉窓された屈光光が出力され
るようになる。これにより、前述したような屈光光の特
性を有する屈光光部11は、前記したように屈光光の屈折部
[0022] 屈光光部11は、例えば2に示すよう
く、波長の異なる複数の屈光光P₁、P₂を発生し、その
ある。

タ 1/3とは会報器 1/2のポート bからの出力光が入力され、その透光率はラマン増幅器 1/0の出力光として後段の光伝送路等に送られる。

（1）上記のような構成のランダム増幅器 1/0は、透光率 1/1からの透光率 P₁～P_nが、WDM用光の伝送方向とは逆方向に伝送するWFM合波器 1/2を介して光伝送路 1に供給される。これにより、光伝送路 1を伝送するWDM信号光は、光伝送路 1全体を物理的に分離して分布ラマン増幅される。また、屈折光 P₁～P_nは、各屈折光と同一屈折光として光伝送路 1へ、A₁～A_nのレーリー散乱光 R₁～R_nが発生して光伝送路 1内を光 WDM信号光と同じ方向に伝播する。このレーリー散乱光 R₁～R_nは、波長が透光率 P₁～P_nによって選択された不要光の属性が画かれられる。これにより、広帯域の屈折光を良好な特性で伝送することができます。

（2）本発明の実施の形態を図面 50（余白の実施の形態の形図）以下、本発明の実施の形態を図面 50（余白の実施の形態の形図）以下、本発明の実施の形態を図面

失により減衰されるが、倍光場の波長帯域内にあるレーザー強度光 $R_{\perp}, \sim R_{\parallel}$ については屈折光 $P_{\perp}, \sim P_{\parallel}$ によるランダム抑止を受け光は透過鏡1の伝送路失が抑制され、所要のパワーを保って合波器1まで到達する。したがって、合波器1の2がポートaには、ランダム抑止された倍光 $S_{\perp}, \sim S_{\parallel}$ およびレーザー強度光 $R_{\perp}, \sim R_{\parallel}$ が主に入射されるが、ボルトbによって伝送され光ファイバ1に取出される。

[0031] 光フィルタ1では、合波器1から出る出力光に含まれる倍光 $S_{\perp}, \sim S_{\parallel}$ は高い透過率で後段の光力場等に取出されるが、レーザー强度光 $R_{\perp}, \sim R_{\parallel}$ は

ついては反対もしくは逆説されるることにより抑圧される。また、ここでは、光フィルタ13の通過率が、信号の波長帯域外の透過率 P_1 、 $\sim P_0$ と同一値についても低くなる(図参照)ため、合波器の入力光に信号の波長帯域外の透過率 P_1 のレーリー散乱光 R_1 、 $\sim R_0$ が含まれたとしても、そのレーリー散乱光 R_1 、 $\sim R_0$ が光フィルタ13で抑圧されることになる。なぜ、信号光の波長帯域外のレーリー散乱光 R_1 、 $\sim R_0$ の影響が実質的にない場合には、信号光の波長帯域内の直射光 P_0 、 $\sim P_1$ と同一波長についてのみ光フィルタ13の透過程が低くなるような設定を採用してもよい。

[0032] このように本ランダム増幅器10によれば、

タ 1.3 を会員登録の登録段階で受けたことによって、暗光の波長帯域が信号光の波長帯域に並なって励起光と信号光が同じ領域内に混在するような波長配置が適用される場合でも、励起光のレーリー散乱光 R₁、R₂を殆ど含まないランダム性吸収された WDM 信号光を出力することができる。これにより、励起光のレーリー散乱光が原因で発生する新形クロストークや非線形クロストークなどによる特異的障害を実現することができる。WDM 個別光の伝送効率を実現した大容量化の光伝送システムを構築することが可能になる。

[0.03.3] 次に、上記のような基本構成を実現したランダム増幅器の具体的な実施形態について説明する。図 3

[図3-4] 図3のランプ増幅器10Aは、上記図1の基本構成について、波送器12の具体所として光サーチャーランプ12Aを使用すると共に、光フィルタ13の具体例としてハイブリッドグレーディング13Aを使用したものである。なお、図3の構成所には、増幅部としての光伝送路1を示して2つのランプ増幅器10Aを組接続した状態が示されている。

[図3-5] 図3のランプ増幅器12Aは、例えば3つのポートA～Cを有し、光伝送路14に接続するポートBか6ポートA～Cを有し、光伝送路14に接続するが6ハイブリッドグレーディング13Aに接続するが

ポートに向かう光と、屈曲光路 11 の出力方向に並ぶポートに向かう光とをそれぞれ通し、それ以外の方向への光の伝送を遮断する。ファイバラググレーティング 13A は、光サークルレーティング 12A のポートに接続するうち屈曲光路 11 の各屈曲光 P₁～P₄と同様に接続するようにして設置したのである。このように各屈曲光 P₁～P₄と同様に接続した各屈曲光路 11 は、印字は図に示すようにある 1 つの屈曲光 P₁に注目した場合に、ファイバラググレーティング 13B は、印字は図に示すようにある 1 つの屈曲光 P₁に注目した場合に、その波浪入射と同一の波長を中心にして屈曲光路が、図示したように反転構造を有し、このような反転構造が、変化する反転構造を有し、この変化する反転構造が、

いため、回転半径 $R = 1$ の動作に影響を及ぼすようになる。また、上記のファイバラグレーティングではない。13Aでは、後段の光伝送路 1 を伝送する後方反射光が反射されるととなる。これにより、反射されれた屈折光が前方屈折光として利用されるようになる。

[0037] このようすで第1実験用のランプ専用部材10Aにおいては、光セーキュレータ12Aおよびファブリックランダムレーティング13Aを利用して具体的な操作によって、屈折光のレーリー-散乱光を抑制してクロス反射光がわめるダブルバスで用いられるが、小さな反射光がわめるダブルバスによって前述の構成が得られるようになっており、反射光パワーで所定の制御が得られる。

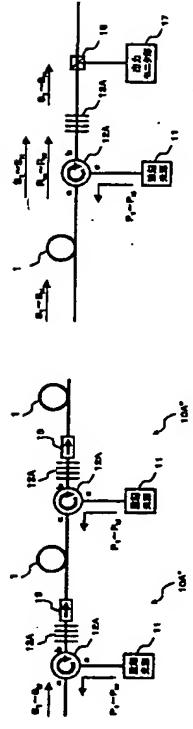
電力の伝送を図ることが可能になる。
10038) なお、上記のランマント付回路10Aでは、ノ
サー・キュー・レータ12Aがポート10に光をもつて可曲面で
通し、その性質を持つものとして、この方向にも光をもつて可曲面で
通るような光チャネルを用いることも可能である。
10 11の出力端とソーキュレータ12Aのポート10との
間に光アソシレータ14を挿入して、ファイバーラン
グレーディング13Aにて反射させたレーリー遮光光が加
えられ11に入射されないようにすることができる。
10039) ついで説明する。図6は、加2段増幅型の
変形構造について説明する。図6は、加2段増幅型の
マンドレル型の構造を示すプロック図である。図6のラ
ンマント付回路10Bは、上記1実施例のランマント付回

特開2003-198485

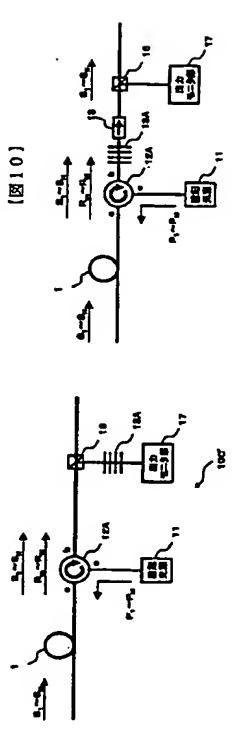
特開2003-188465

(13)

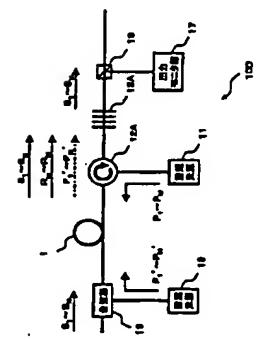
[図7]



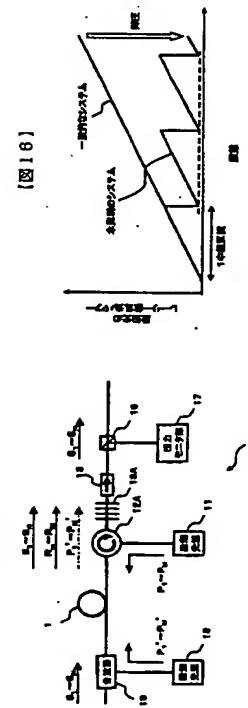
[図9]



[図11]

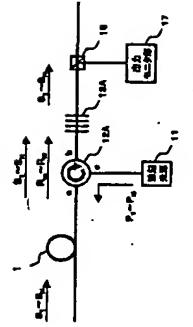


[図13]

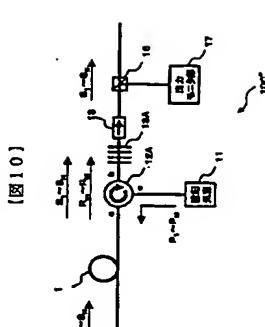


(14)

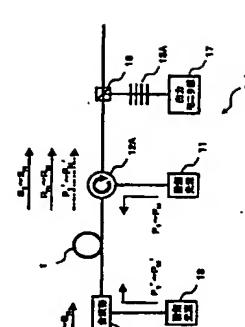
[図8]



[図10]

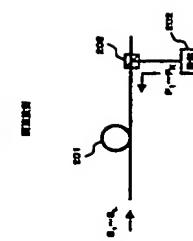


[図12]

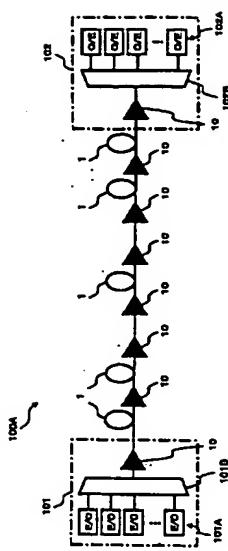


[図14]

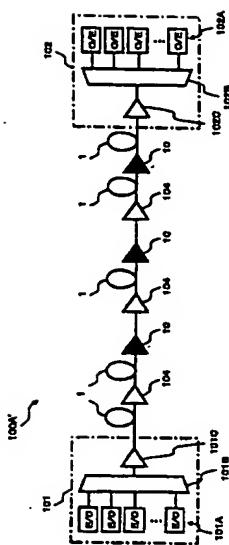
[図6]



[図15]



[図16]

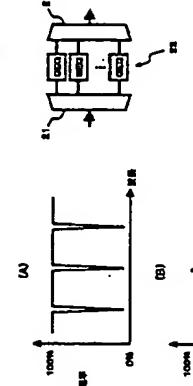


特開2003-188465

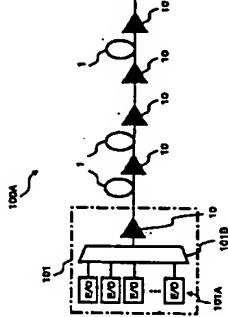
特開2003-188465

(14)

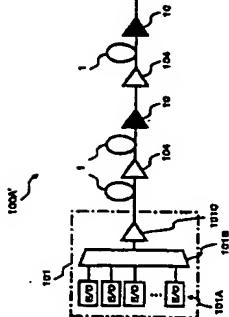
[図19]



[図19]



[図17]

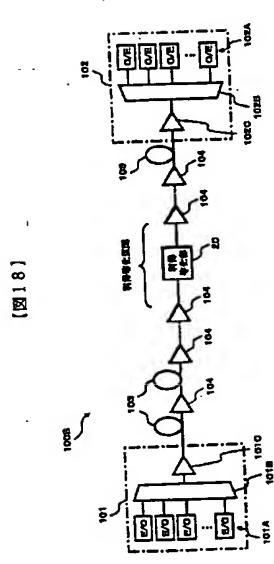


特種2003-188465

詩集二〇三 - 一八〇四

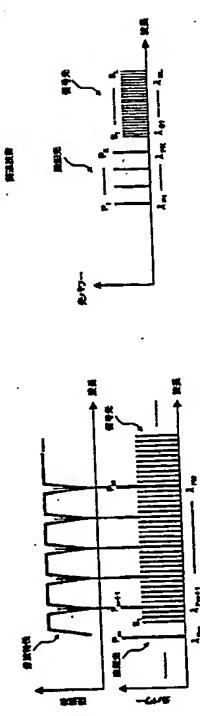
(16)

182



11

[E27]

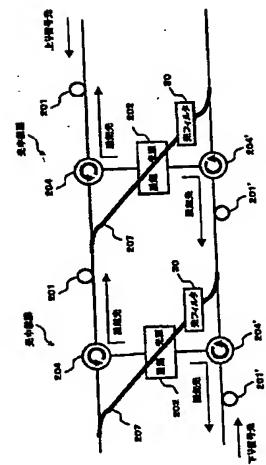


四二

10021

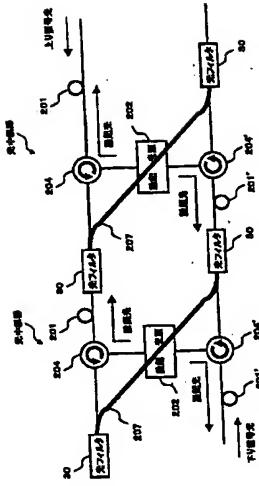
The diagram illustrates a two-stage inverter chain, labeled [FIG. 2.2] in the top left corner. The circuit consists of two stages of inverters, each with four inputs and four outputs. Stage 1 (bottom) has inputs 101, 102, 103, and 104, and outputs 105, 106, 107, and 108. Stage 2 (top) has inputs 109, 110, 111, and 112, and outputs 109A, 110A, 111A, and 112A. A feedback loop connects the output 108 back to the input 102 of Stage 1. Another feedback loop connects the output 112A back to the input 110 of Stage 2.

182



四二三一

图241



[25]

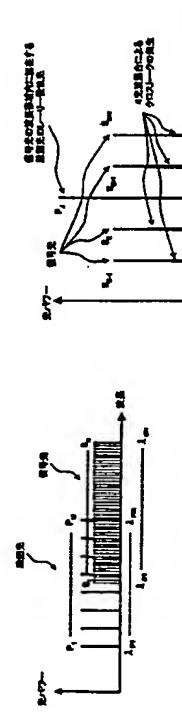
182

182

(17) 特開2003-198465

[図29]

内藤 善男
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内



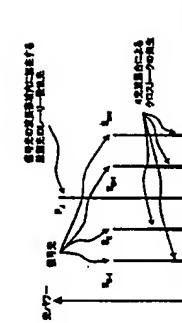
[図31]

特開2003-198465

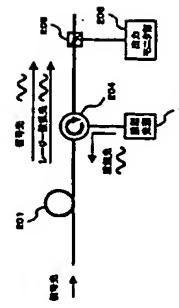
(72)発明者 内藤 善男
F ターム(特許) 2K002 A07 AB30 B401 CA15 DA10
H423
5E072 AB07 AC06 PD07 QD07 YY17
SK002 AA06 CA02 CA03 CA08 CA13
DA02

(18)

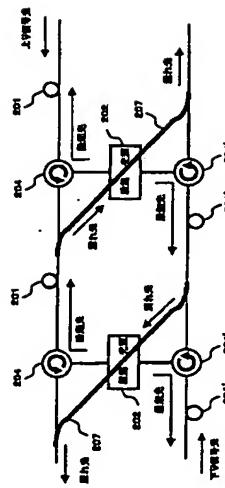
内藤 善男
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内



[図30]



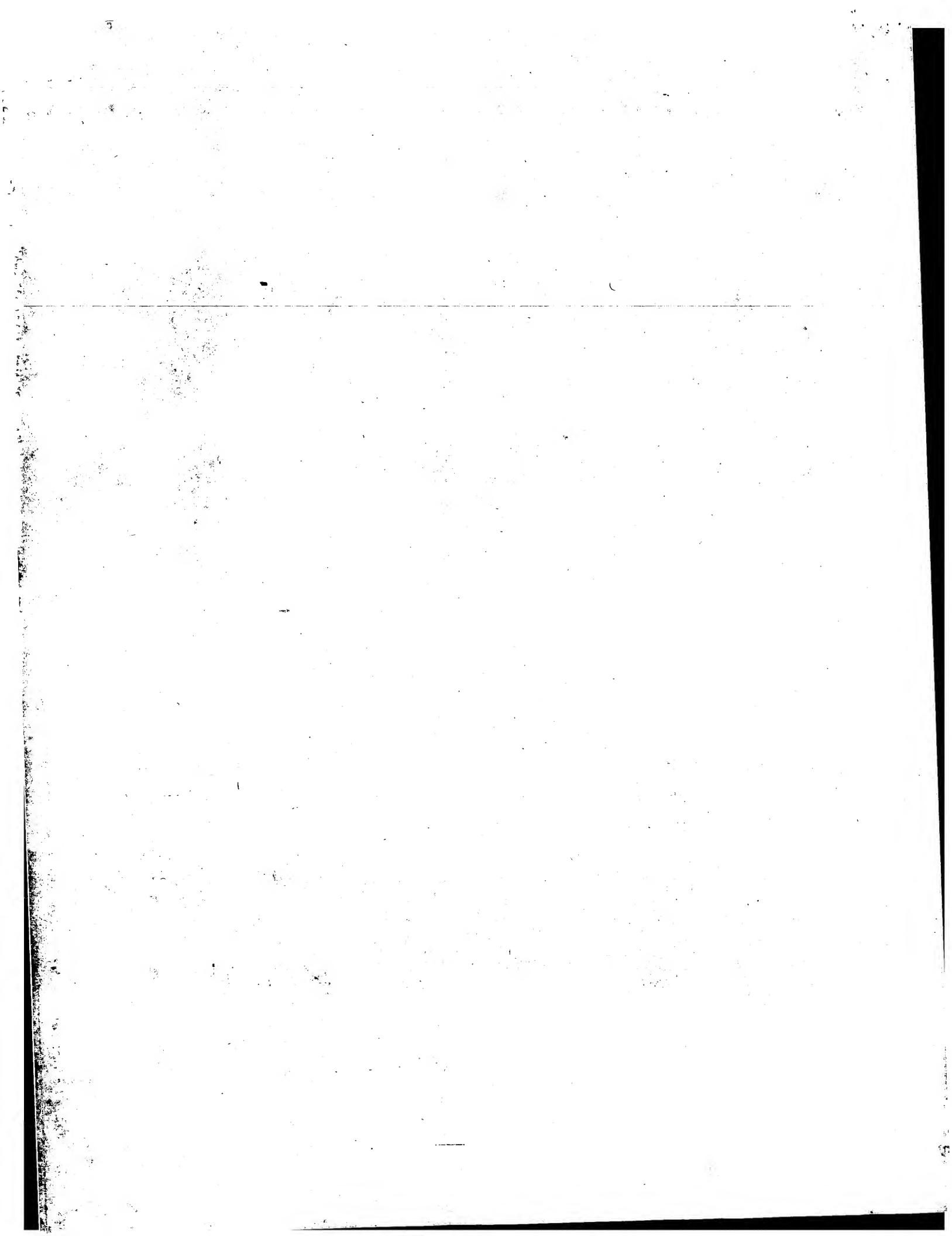
[図32]



フロントページの持続

(51)Int.Cl.
H04B 10/17
10/18
H04J 14/00
14/02

F I
H04B 9/00
E



スラント型ファイバグレーティングを用いた利得等化器

光電子技術研究所 丹羽 敦彦^{*1}・二本柳 明展^{*1}・奥出 晴^{*1}・田中 大一郎^{*2}
光ファイバ事業部 須藤 正明^{*3}

Gain Equalizer Using Slanted Fiber Bragg Gratings

A. Niwa, M. Sudoh, A. Nihon-yanagi, S. Okude & D. Tanaka

スラント型ファイバグレーティング (SFBG) を用いることで、広帯域かつ等化偏差の小さい利得等化器を実現した。作製した広帯域SFBG利得等化器では、39nmの帯域幅で利得平坦性が0.19dB_{p-p}という優れた特性を得た。さらにTelcordia GR-1209 coreおよびGR-1221 core準拠試験を行い、その高信頼性を確認した。

A gain equalizer with a wide operation bandwidth has been realized by using slanted fiber Bragg grating (SFBG) technology. The fabricated SFBG has superior quality of a small loss deviation of 0.19 dB_{p-p} to the target loss spectrum over 39nm wavelength range. Moreover, the reliability tests in accordance with Telcordia GR-1209 core and GR-1221 core requirements were performed and the high reliability has been confirmed.

1. まえがき

近年、インターネットの普及などにより拡大した通信需要にこたえるため、高密度波長多重 (Dense Wavelength Division Multiplexing, 以下DWDM) 伝送技術を導入した光通信システムが構築されている。このような光通信システムでは、信号光の増幅のため、エルビウム添加光ファイバ増幅器 (Erbium-doped Fiber Amplifier, 以下EDFA) が用いられるが、EDFAは比較的利得波長帯域が広い反面、波長帯域内で増幅度に波長依存性を持つという欠点がある。

DWDM伝送では多段中継増幅の場合、もっともレベルが低い信号光の品質により伝送距離が制限されるため、利得波長特性は平坦であることが望ましい。このため、EDFAの利得を平坦化する利得等化器 (Gain Equalizer, 以下GEQ) が必要となる。今後、さらに増え続ける通信需要に対応して、EDFAの利得波長帯域の拡大が要求されていることから、GEQにも等化波長帯域の拡大が求められている。

GEQとしてはこれまでに、長周期型ファイバグレーティング^①、エタロンフィルタ^②、誘電体多層膜フィルタ^③など各種方式が用いられてきた。今回当社は従来のGEQに比べて設計自由度が高く広帯域な等化特性が実現できるスラント型光ファイバグレーティング (Slanted Fiber Bragg Grating, 以下SFBG) を用いたGEQ (SFBG-GEQ) の開発を行い、利得等化帯域幅39nmにおいて等化偏差

(目標損失との差) 0.19dB_{p-p}を実現した。

本報では、SFBG-GEQの動作原理、光学特性、および信頼性について述べる。

2. SFBG-GEQの原理

通常の短周期型FGは反射型素子であるため、GEQに適用すると、FGからの反射光がEDFAに戻ることで増幅特性に悪影響を与えたり、グレーティング内の多重反射により透過スペクトルにリップルを生じたりする。このような問題を回避するために、(1) FGからの反射光を抑制し、(2) 主に損失だけを発生させ、(3) 干渉によるリップルを抑えることが可能な、SFBG^④を利用した。

SFBGは、図1のようにグレーティング方向（屈折率上昇がおきている面に垂直な方向）を光ファイバ軸から傾ける（スラントさせる、以後この角度をスラント角度という）ことにより、導波モードからそれと逆方向に伝搬する導波モード（反射モード）への結合を抑制し、グレーティング周期で決まる特定波長の光を後進クラッドモードへ結合させる。クラッドモードに結合した光はファイバ外に放出され、損失となるので、特定波長に損失を与える波長フィルタとして機能する。このときスラント

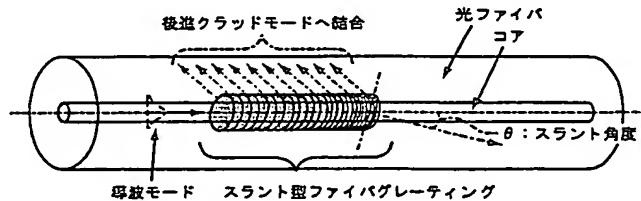


図1 SFBGの動作原理
Operation principle of SFBG

*1 光通信研究部

*2 光通信研究部グループ長

*3 光技術部

2002 年 10 月

フジクラ技報

角度を最適化することで反射モードの結合は十分に小さくすることができ、従来の短周期型FGでみられた透過損失リップルを抑制できる。

最適なスラント角度を持つ短いグレーティングの透過損失スペクトル（基本スペクトル）は、図2 (a) に示すようにグレーティング周期に対応した波長を中心として、ある広がりを持った分布となる。グレーティング周期がある変化してもこのスペクトル形状は保持されたまま、中心変化してもこのスペクトル形状は保持されたまま、中心波長のみが変化する。よって、グレーティングの周期が長手方向に徐々に変化するチャートグレーティング構造を採用し、図2 (b) に示すようにそれぞれの位置での屈折率変調振幅を制御することで、図2 (c) に示すように所望の損失を得ることができる。

3. SFBG用光ファイバ

広帯域のGEQを実現するためには、より急峻な損失波長変化を実現する必要がある。このためには、図2 (a) に示す基本スペクトル幅はできるだけ小さいことが望ましい。例えば、通常のSMファイバを用いた場合、反射が十分に抑制されるスラント角度では、基本スペクトル幅が20nmを越えるためGEQとして利用することができない。EDFAのGEQとしては、基本スペクトル幅10nm程度い。EDFAのGEQとしては、基本スペクトル幅10nm程度の必要とされる。そのため、コアおよびクラッドに以下が必要とされる。そのため、コアおよびクラッドに対する紫外光感受性を最適化し、狭帯域な基本スペクトルが得られるSFBG専用ファイバの開発を行った。図3にそのファイバの基本スペクトルを示す。基本スペクトルの帯域幅は非常に狭帯域であり、より複雑な損失スペクトルが実現可能になった。基本スペクトルの帯域幅を最大損失の1/10のときの波長帯域幅として定義すると、それぞれ7nmおよび12nmとなる。

4. 微小リップルの低減

SFBGは反射モードへの結合を抑えているので、グレーティング内の多重反射による損失リップルは十分に小さいものの、クラッドからコアへ戻ってくる光がわずかに存在し、その干渉により0.2dBp-p程度のリップルが存在する。この値は、長距離光中継システムでEDFAとSFBG-GEQを多段に接続した場合、信号の大きな歪みの原因に

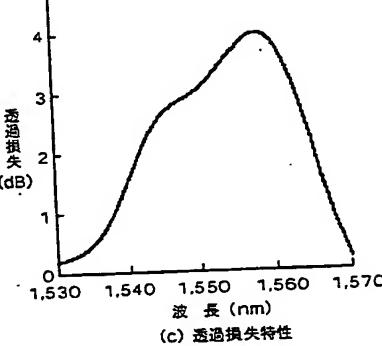
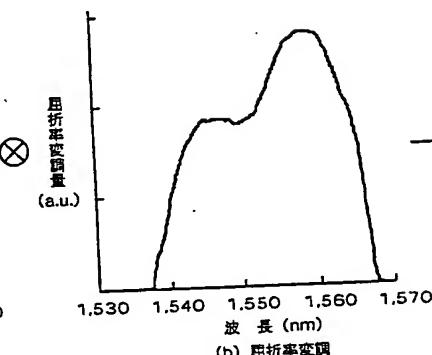
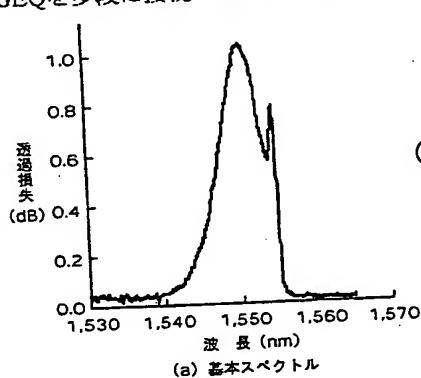


図2 SFBG-GEQ透過損失特性の制御
Control of SFBG-GEQ transmission spectrum

なる可能性があるため低減する必要がある。そこでリップル低減の方法として、クラッド周囲を光ファイバと同じ程度の屈折率を持つ材料で覆い、コアに光が戻らないような構造を採用した。図4に屈折率が同程度の樹脂で覆う前後のSFBG-GEQの透過特性を示す。ファイバ周囲を覆った場合（太線）リップルがほぼなくなり、平均的な損失は変化していないことがわかる。

5. 広帯域SFBG-GEQ

5.1 広帯域SFBG-GEQの設計

一般的なEDFAの利得波長特性は、図5に示すような

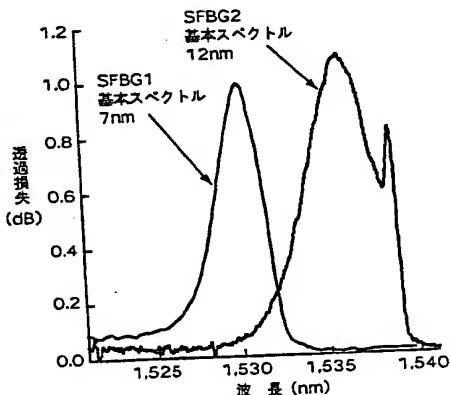


図3 SFBC用ファイバの基本スペクトル
Fundamental spectra of two types of SFBG fiber

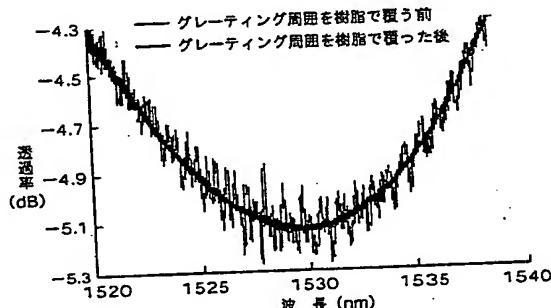


図4 微小リップルの低減
Decrease of small ripple

1,530nm付近と1,560nm付近に2つの異なるピークを持つ。従来の帯域幅20~30nm程度のEDFAでは1,560nm帯のみを利用等化して利用していたが、より広帯域のEDFAを実現するためには1,530nm帯の増幅帯域も利用する必要がある。これら2つの帯域をすべて等化できるGEQを実現するため、それぞれの範囲を個別に等化するよう異なる2種類のSFBGを組み合わせ、図5上に示すように2つを直列に接続することで目標とする損失波長特性を実現できるように設計を行った。SFBCG1には図3に示すような7nmの狭い帯域幅の基本スペクトルを持つファイバを用い、図5の1,530nm付近の急峻なピークを等化することに主眼を置いた。一方、1,560nm付近のピークは急峻ではないため、SFBCG2には容易に大きな損失の得られる12nmの基本スペクトル帯域幅を持つファイバを採用した。それぞれの帯域に最適化したSFBCG1とSFBCG2を組み合わせることで、設計上1,528.2nm~1,567.2nmの39nmの帯域を

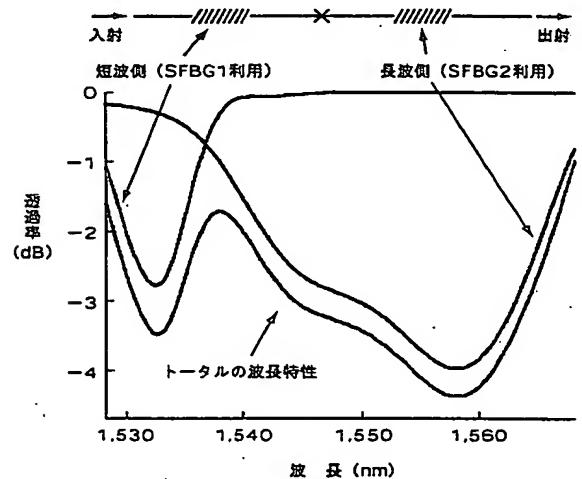


図5 広帯域SFBG-GEQ設計透過スペクトルおよび構成
Structure and designed transmission spectrum of wide bandwidth SFBG-GEQ

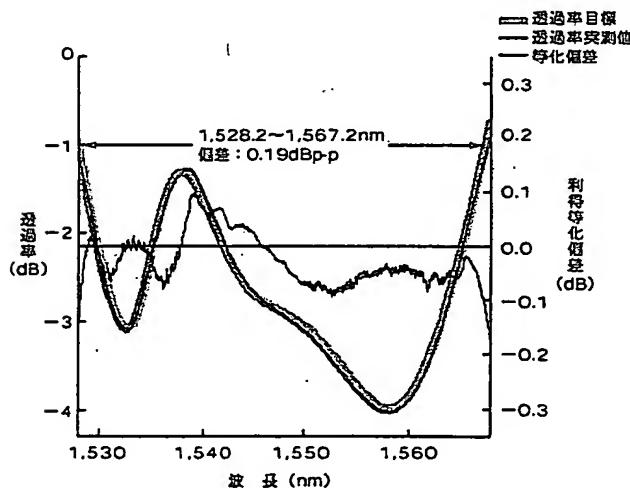


図6 作製した広帯域SFBG-GEQの透過特性および
目標からの偏差
Loss spectrum of the fabricated wide bandwidth SFBG-GEQ

0.098dBp-pで等化できるSFBCG-GEQが実現できる。

5.2 広帯域SFBG-GEQの光学特性

作製した広帯域SFBG-GEQの透過スペクトル、目標スペクトルおよび目標からの偏差を図6に示す。得られた透過スペクトルは目標とほぼ重なっていることがわかる。偏差の最大値と最小値の差は1,528.2~1,567.2nmの範囲(39nm帯域)で0.19dBp-pであった。この値は前節で示した設計値よりも若干悪い値であるが、従来のGEQと比較して広帯域かつ低偏差である。

反射特性を図7に示す。スラント角度の最適化により反射率は十分低く抑えられており、使用帯域内での最大反射率は-27dBである。その他光学諸特性を表1にまとめた。

6. 信頼性

SFBG-GEQのパッケージ構造として、これまでにわれわれが開発した高信頼度光カプラ、光ファイバグレーティングと同じ構造を採用した。SFBG-GEQの信頼性を確

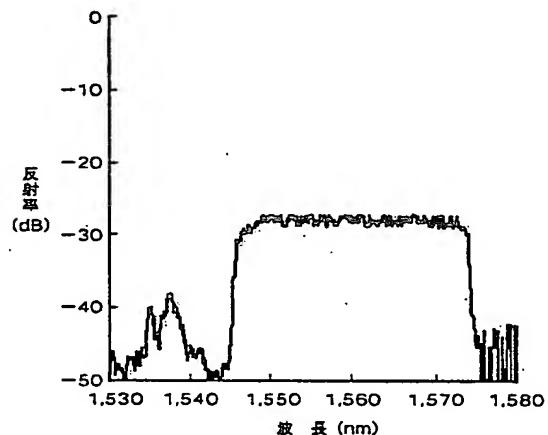


図7 広帯域SFBG-GEQの反射特性
Reflection spectrum of wide bandwidth SFBG-GEQ

表1 光学諸特性
Optical characteristics

項目	数値
押入損失	0.7 dB
PDL	<0.1 dB
波長分散	0~0.1 ps/nm
温度特性	0.01 nm/°C
微小リップル	<0.03 dB

表2 信頼性試験の主な項目
Main test items of reliability test

試験項目	条件
ヒートサイクル試験	75/-40°C 5,000h
高温高湿試験	75°C 90% RH 5,000h
高温試験	85°C 5,000h
低温試験	-40°C 5,000h
振動試験	正弦波 / ランダム3軸
衝撃試験	1,000G 1ms 3軸
引っ張り試験	水平450gf / 垂直230gf

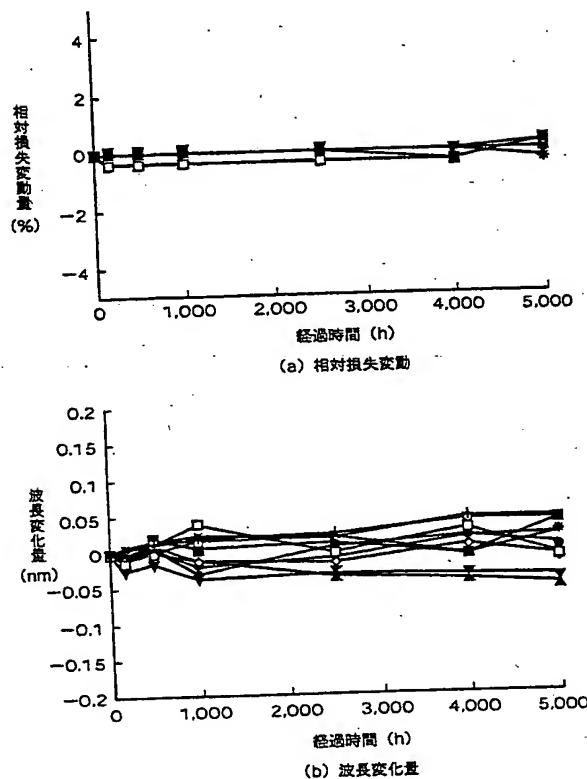


図8 低温試験結果
Results of low temperature test

認するために、Telcordia GR-1221 core およびGR-1209 core準拠の試験を実施した。主な試験項目および条件を表2に示す。試験に対する評価は以下の項目について行った。

- ・最大透過損失値（初期損失に対する相対変化）
- ・最大透過損失波長（損失が最大になる波長）
- ・挿入損失

試験結果の例として、図8、図9に低温試験、ヒートサイクル試験の結果を示す。5,000時間後の最大透過損失の変動幅は±1%以内（約±0.03dB以内）であり、最大透過損失波長の変動幅は±0.05nm以内であった。これらの値はいずれも測定精度以内で、特性変動は非常に小さいことがわかる。その他の試験結果においても、特性の変動は非常に小さく、SFBG-GEQは高い信頼性を持っていることが確認できた。

7. むすび

スラント型ファイバグレーティングを用いて、39nm帯域の広帯域SFBG-GEQを実現した。広帯域SFBG-GEQの利得等化特性は39nmの帯域で利得等化偏差0.19dBp-pであった。実現した特性は、従来の利得等化技術と比べ広帯域かつ低偏差であり、優れた利得等化技術であるといえ

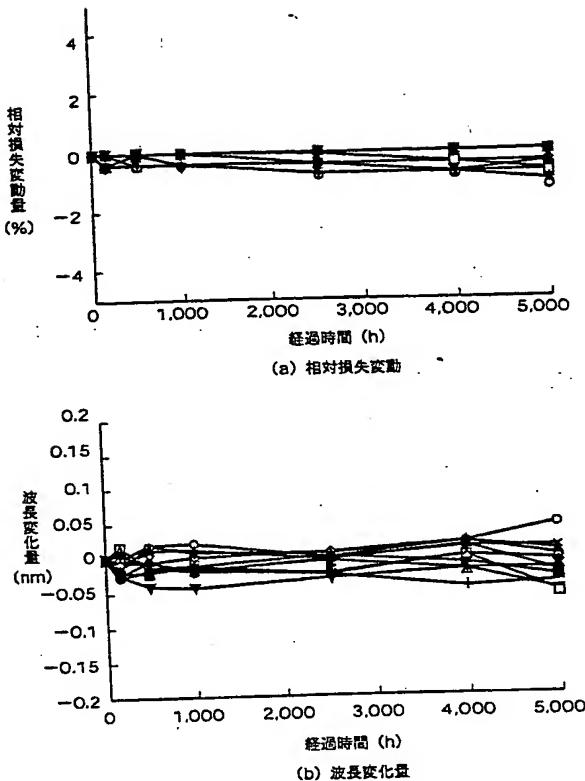


図9 ヒートサイクル試験結果
Results of temperature cycle test

る。また信頼性の点においても、Telcordia GR-1221core およびGR-1209core準拠の試験により十分高い信頼性を持つことが確認できた。

DWDM伝送方式においては信号帯域拡大の傾向が続いていることから、SFBG-GEQは次世代の広帯域EDFAを実現するためには必須のデバイスとなると期待される。

参考文献

- 1) A. M. Vengsarkar, et al: Long-period fiber-grating-based gain equalizers, Opt. Lett., Vol.21, pp. 336-338, 1996
- 2) K. Shima, et al: A novel temperature-insensitive long-period fiber grating using a boron-codope-germanosilicate core fiber, Tech. Digest OFC'97, FB2, pp. 347-348, 1997
- 3) T. Naito, et al.: Gain equalizer in long-haul WDM transmission system, IEICE Trans. Electron., Vol.E81-C, 8, pp. 1293-1300, 1998
- 4) N. Shimojoh, et al: New gain equalization scheme in WDM optical amplifier repeated transmission systems, OECC'96, Technical Digest, 17B3-3, pp. 120-121, 1996
- 5) M. J. Holmes, et al: Physical properties of optical fiber sidetap grating filters: Free-space model, IEEE J. Selected Topics Quantum Electron., Vol.5, pp. 1353-1365, 1999